



Best Practice	REDUKTION VON LECKAGEN	CAIR-07
Anwendung	Druckluftsysteme	
KMU Sektor	Industrie	
KMU Subsektor	Alle	
Technische Beschreibung	<p>Druckluft: vielseitig und energieintensiv</p> <p>Druckluft wird für eine Vielzahl von Anwendungen eingesetzt, z. B. für den Antrieb von Druckluftwerkzeugen oder als Prozessmedium direkt in der Produktion. Im Durchschnitt ist die Druckluftherzeugung für etwa 10 % des Strombedarfs in Industrieunternehmen verantwortlich. Die Stromkosten sind ein wichtiger Aspekt der Druckluftnutzung, da sie über einen Zeitraum von fünf Jahren einen Anteil von weit über 70 % der Kosten einer optimierten Druckluftstation ausmachen können. Nach Schätzungen liegt der Energiebedarf bei einem Nenndurchfluss und einem typischen Druck von 7 bar zwischen 85 und 130 Wh/Nm³ Druckluft bei einer korrekt dimensionierten und gut geführten Anlage. Dies entspricht in der Regel etwa 1 bis 3 Eurocents pro Nm³ Druckluft, je nach Systemleistung und Strompreisen.</p> <p>Luftleckagen sind ständige Verbraucher von Druckluft, auch nach Bürozeiten und in den Abendstunden. Schon kleine Leckagen können zu erheblichen Verlusten an elektrischer Energie und damit zu erheblichen Energiekosten führen. Sie zu beseitigen ist oft relativ einfach und eine regelmäßige Kontrolle der Leckagen ist daher eine gute Strategie, um sowohl die Stromkosten zu minimieren als auch Geld zu sparen.</p> <p>Luftleckagen reduzieren und damit Geld sparen</p> <p>Eine in der Regel leicht umzusetzende und kostengünstige Maßnahme für den Normalbetrieb ist die Reduzierung von Luftleckagen. Diese sind als wesentliche Quelle für Energieverluste in Druckluftsystemen identifiziert worden.</p> <p>Sie entstehen durch schlecht ausgeführte Installationsarbeiten, verschlissene Geräte oder mangelnde Sensibilität des Benutzers, z. B. durch halb geschlossene Luftventile.</p> <p>Eine besondere Herausforderung bei Luftlecks ist, dass sie in einem unter Druck stehenden Druckluftsystem immer vorhanden sind, auch am Wochenende, wenn niemand arbeitet. So kann die Vermeidung von Leckagen zu einer durchschnittlichen Reduzierung des Strombedarfs für die Druckluftversorgung</p>	



	<p>zwischen 10 und 20 % des gesamten Energiebedarfs eines Druckluftsystems führen.</p> <p>Auftreten und Erkennung von Luftleckagen</p> <p>Luftleckagen können in allen Teilen eines Druckluftsystems auftreten, vom Luftkompressor bis zum Endverbraucher, einschließlich:</p> <ul style="list-style-type: none">• Kupplungen, Fittings und Ventile• Rohrverbindungen, Abtrennungen• Druckregler und Kondensat-Abscheider• Werkzeuge und pneumatische Geräte.
<p>Empfehlung zur Optimierung</p>	<p>Als vernünftige Zielgröße sollte ein Gesamtleckage-Anteil von 10 % und weniger angestrebt werden. Eine weitere Reduktion der Leckagen unter diesen Anteil ist in den meisten Fällen nur mit einem sehr hohen Aufwand zu erzielen und deshalb meist nicht wirtschaftlich.</p> <p>Die beste Methode, Leckagen aufzuspüren, ist mittels eines Ultraschall-Detektors. Er registriert die Schallwellen, welche durch eine Leckage verursacht werden. Der Vorteil ist, dass mittels des Detektors auch während des Betriebes Leckagen gefunden werden können. Bei Produktionsstillstand oder während Nachtschichten ist es möglich, mit bloßem Gehör bereits große Leckagen zu orten. Eine weitere Möglichkeit auf Dichtheit zu prüfen ist mittels Seifenwassers, welches auf Kupplungen, Verbindungen oder Dichtungen gegeben wird. Wenn sich Blasen bilden, kann man von einer undichten Stelle ausgehen. Insbesondere flexible Elemente und Anschlussstücke neigen zu Leckagen:</p> <ul style="list-style-type: none">• Kupplungen: billige Schnellverschlusskupplungen aus Messing weisen hohen Leckagen Anteil auf• Schläuche oder Dichtungen: PVC-Schläuche härten aus, Hanfdichtungen trocknen häufig aus bei Umstellung auf ölfreie Lust bzw. bei Installation neuer Trockner oder werden porös.• Pneumatischen Schaltkomponenten: Lose und undichte Stecknippel, beschädigte Ölabscheider, Undichte Verteiler• Zylinder: Verschlossene Zylinderabdichtungen oder Anschlüsse, Undichtheiten innerhalb der Komponenten <p>Anschließend werden die Leckagen beseitigt durch:</p> <ul style="list-style-type: none">• Nachziehen von Schneidringverschraubungen,• Erneuern von Gewindeabdichtungen (Teflonband oder flüssige Gewindedichtmittel)• Austausch von Ventilen, Zylindern, Kupplungen und Dichtringen



	<ul style="list-style-type: none"> • Beschaffung von verlustarmen Kupplungen <p>Jeder Betrieb sollte eine zumindest jährliche Leckageortung selbst durchführen oder einen Fachbetrieb damit beauftragen. Darüber hinaus sind zeitliche und finanzielle Ressourcen für die Leckagen Beseitigung bereitzustellen, um die bei der Ortung festgestellten Leckagen auch wirklich beheben zu können.</p> <p>Es gibt eine Reihe von Möglichkeiten, Luftleckagen sofort zu erkennen bzw. zu reduzieren:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vor allem größere Leckagen verursachen ein vernehmbares Geräusch und/oder können sogar in der Nähe gefühlt werden. • Die Verwendung von Seifenwasser, das mit einem Pinsel auf verdächtige Stellen aufgetragen wird, kann ein einfaches Mittel sein, um Leckagen zu identifizieren. • Leckagen führen zu Ultraschallaussendungen. Der Markt bietet akustische Detektoren an, die solche Emissionen auch bei kleineren Leckagen lokalisieren können. • Leckagen können auch mit bestimmten Gasen erkannt werden. <p>Eine weitere Strategie zum Umgang mit Leckagen ist die Abtrennung von Teilen des Druckluftnetzes, während die Produktion nicht läuft, z. B. durch automatisierte Ventile oder durch Hinzufügen von manuellen Schaltern, z. B. für Stillstandszeiten am Wochenende. Dies kann auch eine Strategie sein, wenn Leckagen schwer zu lokalisieren oder zu beheben sind.</p>
<p>Relevante technische Überlegungen</p>	<p>Bei Druckluftsystemen können im Laufe der Zeit bis zu 20 % der erzeugten Druckluft durch Leckagen entweichen.</p> <p>Diese Art von Systemen hat auch einen erheblichen Einfluss auf die Energiekosten einer Industrie, da die Erzeugung von 1 kW Druckluft so viel kostet wie die Erzeugung von 8 kW Strom.</p> <p>Die Reduzierung oder Beseitigung von Druckluftleckagen bedeutet eine erhebliche Energieeinsparung und eine Senkung der Anlagenkosten.</p>



Grafiken und Diagramme	Tabelle 1: Verluste durch Leckagen in Abhängigkeit von deren Größe						
	Loch-durchmesser (mm)	Luft-leckage bei 6 bar (l/s)	Luft-leckage bei 12 bar (l/s)	Energie bei 6 bar (kWh)	Energie bei 12 bar (kWh)	Kosten bei 6 bar (EUR)	Kosten bei 12 bar (EUR)
	1	1,2	1,8	0,3	1,0	144	480
	3	11,1	20,8	3,1	3,1	1.488	6.096
	5	30,9	58,5	8,3	33,7	3.984	16.176
	10	123,8	235,2	33,0	132	15.840	63.360
Wirtschaftlichkeit	Typische Kosten für die Suche und Reparatur von Leckagen liegen bei etwa 1.000 EUR/Jahr.						
	Materialkosten für die Reparatur betragen im Durchschnitt zwischen 20 – 50 EUR; große Abweichungen sind möglich.						
	Arbeitskosten variieren je nach Ursache der Leckage.						
	Je nach Situation und Strategie ist das Erkennen und Beheben von Leckagen nahezu kostenlos, kann aber erhebliche Auswirkungen auf die Energiekosten haben.						
Energieeinsparungen	pro festem 3 mm-Leck: 9.000 kWh/Jahr						
	Durchschnittliche Reduzierung des Strombedarfs für die Druckluftversorgung zwischen 10 und 20 % des gesamten Energiebedarfs eines Druckluftsystems.						
Wirtschaftliche Einsparungen	Zum Beispiel führt die Behebung eines 3 mm großen Lecks mit einem Leistungsbedarf von 3 kW bei einem Betrieb von 3.000 Stunden zu jährlichen Einsparungen bei den Stromkosten von:						
	$3 \text{ kW} \times 3.000 \text{ h/Jahr} \times 0,1 \text{ EUR/kWh} = 900\text{EUR/Jahr}$						
	Ein einzelnes Leck mit 1 mm Durchmesser in einem System mit 8 bar Druck kann zusätzliche Kosten von 150 EUR/Jahr verursachen.						
Durchschnittliche Amortisationszeit	Einsparungspotenzial von 6 – 10 % pro bar						
	< 3 Jahre						



Emissionen	Diese Maßnahme ist nicht mit weiteren Emissionen verbunden	
Vorteile für die Umwelt	Reduktion der CO ₂ -Emissionen durch geringeren Energiebedarf	
Nicht-Energievorteile (Mehrfachnutzen)	<input checked="" type="checkbox"/> Vorteile für die Umwelt <input type="checkbox"/> Höhere Produktivität <input checked="" type="checkbox"/> Arbeitsumfeld/Gesundheit/Sicherheit <input type="checkbox"/> Mehr Wettbewerbsfähigkeit <input type="checkbox"/> Wartung	<p>Die stabilere Druckversorgung kann zu einer Steigerung der Qualität der Produkte führen.</p> <p>Die Behebung von Leckagen kann zu einer Reduzierung des Geräuschpegels führen.</p>
Replizierbarkeit	<p>Hoch</p> <p>Für 80 % der Druckluftsysteme ist diese Maßnahme anwendbar und kostengünstig.</p>	
Ähnliche Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> • CAIR-01: Optimierung von Druckluftverbrauchern • CAIR-02: Optimierung des Systemdrucks • CAIR-03: Abschalten der Anlage und Verbraucher • CAIR-04: Übergeordnete Steuerung • CAIR-05: Auslegung und Bauweise der Kompressoren • CAIR-06: Netzwerk-Optimierung • CAIR-08: Wärmerückgewinnung 	
Praxisbeispiel	<p>Energieeffiziente Druckluftoptimierung im Kfz-Betrieb (Deutschland, 2021)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ausgangssituation: Die Druckluftversorgung soll optimiert werden. Da noch nicht absehbar ist, wie sich der Betrieb zukünftig aufstellt (evtl. zusätzliche Lackierung) soll nicht das Gesamtsystem erneuert werden, sondern aktuell nur die Verluste minimiert werden. Dazu wurde der Druckluftverlust gemessen. Auf Basis dessen wurde eine Berechnung erstellt und Maßnahmen definiert, um die Verluste zu minimieren, ohne jedoch in das Gesamtsystem mit Leitungsführung und Erzeugung (Kompressor) einzugreifen. Strömungsgeräusche sind nur an einer Stelle außerhalb des Werkstattbetriebes zu hören – alle weiteren Leckagen sind ohne Messtechnik nicht hörbar. <p>Das Druckluftsystem wird nur an etwa 250 Tagen/Jahr für 8 Stunden sowie an 48 Samstagen für rund 4 Stunden betrieben (rechnerisch = 274 Tage mit 8 Stunden) = 2.192 Betriebsstunden (Verlustzeiten sind somit bereits optimiert).</p>	



	<ul style="list-style-type: none"> • Beschreibung der Maßnahme: <ul style="list-style-type: none"> - Tausch von 17 Messing-Druckluftkupplungen gegen Stahlsicherheitskupplungen, - Erneuerung Druckluftanschluss an die Hebebühne, - Neuinstallation zusätzliche Wanddose mit Kugelhahn (Luftweiche). • Nebeneffekte der Maßnahme: Erhöhung der Arbeitssicherheit, Sensibilisierung der Mitarbeiter • Investitionskosten: etwa 2.000 EUR (Material 1.100 EUR + Montage 900 EUR), keine Fördermöglichkeiten vorhanden • Amortisationszeit: 6 Jahre (ohne Energiepreissteigerung) • Energieeinsparung: 1.368 kWh • Kosteneinsparung: 330 EUR (= 0,24 EUR/kWh) • CO₂-Einsparung: 584 kg
Quellen	<p>Kulterer, K., Huber J., Ruthner H., Oetiker H., Pucher C., Steinbrugger, C. (2015): Leitfaden für Energieaudits zur Optimierung von Druckluftsystemen, klimaaktiv energieeffiziente betriebe, Wien.</p> <p>Larrabee C.: Managing Multiple-Compressor Systems: Utilizing Controls to Improve Performance.</p> <p>3E Strategy, Department of Mechanical engineering, University of cape town: How to save energy and money in compressed air systems.</p> <p>ICCEE: Energy efficiency measures: best practices; https://iccee.eu/energy-efficiency-measures-best-practices/</p> <p>Fraunhofer ISI (Oktober 2003): Druckluft effizient.</p> <p>U.S. Department of Energy, Energy Efficiency & Renewable Energy – Office of Industrial Technologies (2000): Compressed Air Tip Sheet #3.</p> <p>Europäische Union (Februar 2009): Reference Document on Best Available Techniques (BAT) for Energy Efficiency.</p> <p>Praxisbeispiel Berechnung Druckluftleckagen im Kfz-Betrieb; https://www.energieeffizienz-handwerk.de/files/1019/969514.pdf</p>

Diese Best Practice wurde im Rahmen des Impawatt-Projekts (GA-Nr. 785041) entwickelt und für das GEAR@SME-Projekt (GA-Nr. 894356) angepasst.